

委員提供資料

山岡 耕春 座長

提供資料

2009年ラクイラの地震と 実用的地震予測に関する国際委員会

Operational Earthquake Forecasting
State of Knowledge and Guidelines for Utilization
by
International Commission on Earthquake Forecasting for Civil Protection
(ICEF)

名古屋大学環境学研究科地震火山研究センター
山岡耕春

Operational Earthquake Forecasting: State of Knowledge and Guidelines for Utilization

International Commission on Earthquake Forecasting for Civil Protection

Thomas H. Jordan	(座長 南カリフォルニア大学)
Yun-Tai Chen	(中国地震局)
Paolo Gasparini,	(事務局 ナポリ大学)
Raul Madariaga	(パリ高等師範学校)
Ian Main	(エジンバラ大学)
Warner Marzocchi	(イタリア国立火山地球物理研究所)
Gerassimos Papadopoulos	(アテネ国立観測所)
Gennady Sobolev	(ロシア科学院)
Koshun Yamaoka	(名古屋大学)
Jochen Zschau	(ドイツ地球科学研究センター)

委員会設立の背景

2009.4.6 ラクイラ地震(Mw6.3)
死者約300、全半壊20000棟、避難65000人
活発な前震を伴っていた
地元の研究者のラドン観測による「地震予知発表」による混乱
INGVや市民安全局(DPC)による火消し情報

委員会のミッション

地震の短期予知と予測に関する知見の整理
大規模地震の地震ハザード確率評価の利用
大地震の有力な前兆現象を活用するためのガイドラインの提示

会議(主なもの)

2009. 5. 12-13 ラクイラ
2009. 8. 31-9. 2 ローマ
2009. 9. 30-10. 2 ラクイラ



最終報告書を2011.5.20 にDPCIに提出+公表
(Annals of Geophysics, 54,4,2011; doi:10.4401 /
ag-5350)
サマリーと提言: 2009.10.2に記者発表

英訳は以下のサイトにある
http://www.protezionecivile.it/cms/attach/ex_sum_fi_nale_eng1.pdf

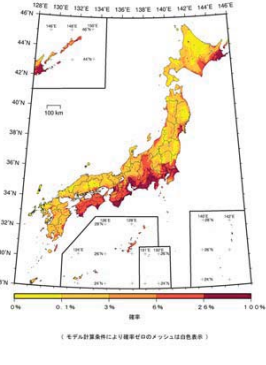
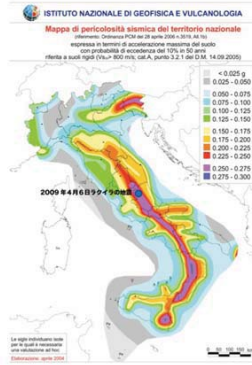
和訳は地震学会ニュースレター(Vol.21 No.6)に掲載

決定論から確率論へ

言葉の定義

予知: 決定論的 予測: 確率論的

地震の発生過程は大変複雑
 診断的前兆による決定論的予知は困難
 確率的・定量的予測が必要である



実用的地震予測の現状

実用的地震予測の目的

潜在的に起こりうる破壊的地震に先だてて意志決定できるように、地域社会に対し地震ハザードについての情報を提供すること

時間非依存の地震ハザードマップ

ギリシャ、イタリア、ロシア

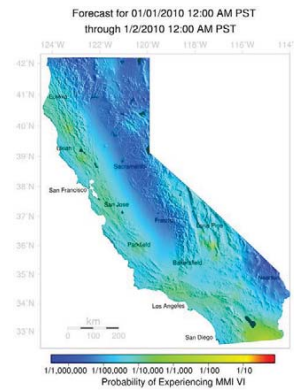
時間依存の地震ハザードマップ 日本、中国、米国

地震活動に基づく短期予測

カリフォルニア州

イタリアの地震ハザードマップ(INGV)

日本の地震ハザードマップ(地震本部)



カリフォルニア州の地震短期予測図(ETH, SCEC, USGS)

2

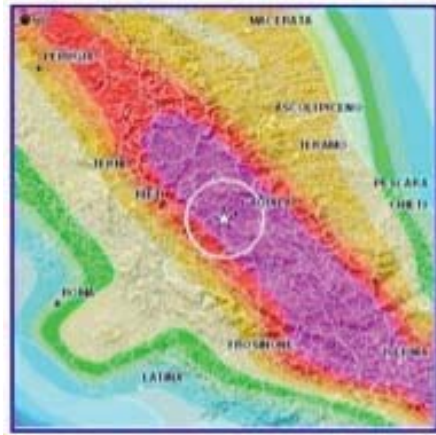
ICEFレポートの背景 — L'Aquila 地震

- 2009/6/3 3:32AM (Local Time)
- Abruzzo region 首都の L'Aquila 近傍が震源
- Mw 6.3
- 死者300人、被害家屋20000棟、65000人が家を失う
- 多くの歴史的建造物に被害

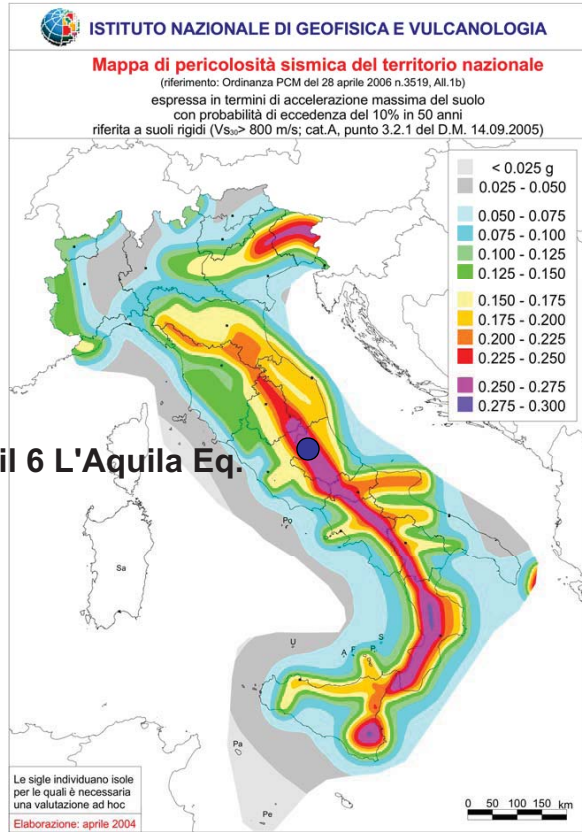


(ICEFレポートより)

3



April 6 L'Aquila Eq.



4

前震・本震・余震の震源分布

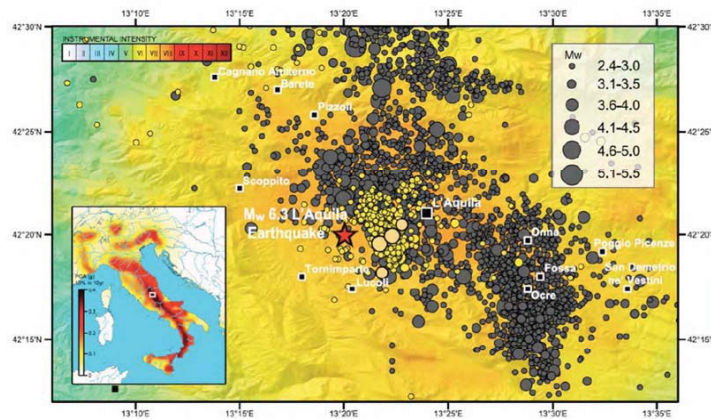


Figure 1.3. Map of the region affected by the 6 April 2009 L'Aquila M_w 6.3 earthquake (red star), including the ground motion predicted by the ShakeMap approach, the foreshocks between 1 November and 6 April (yellow), aftershocks between 6 April and 1 May (gray), and the settlements (black squares). Inset shows the national seismic hazard map [7] with the white box indicating the region in the main panel. Figure from van Stiphout et al. [267].

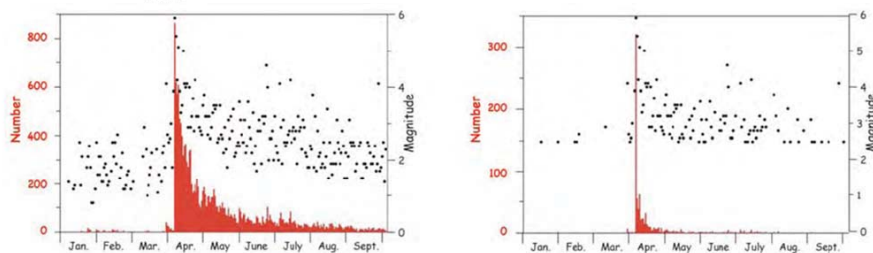


Figure 1.4. Time sequence of earthquakes in L'Aquila area from January 2009 through September 2009. (a) Total number of events located each day, in red (left scale); black dots show the highest magnitude event for each day (right scale). (b) Same plot filtered to include only events with magnitudes of 2.5 and greater. (Data from INGV.)

(ICEFレポートより)

5

ICEFレポートの背景 — 「地震予知」

- 2009年1月から群発地震が発生
- 住民は大地震発生を心配 → 学校の避難やその他対策がなされる
- 3月30日 M4.1, M3.5, M3.9の地震発生
- 地元の研究者がラドン観測を元に「地震予知」。社会的関心を集める。
- 3月31日にCGR(大規模災害対策委員会)が会合。「大きな地震につながる理由はない」と結論
- 4月6日 M6.3 L' Aquila earthquake



つきつけられた課題(ICEF reportより)

- 大きな地震と余震を予測するために最も良い科学的方法は何か
- 大地震を、防災に役立つ程度に短期的に予測することは可能か
- 地震の予測情報を、政府が防災に役立てるためにはどうしたらよいか
- どのように地震予測情報を流通させたらよいか

6

イタリア防災局(DPC)の諮問内容 と 国際委員会(ICEF)の方針

- 諮問内容
 - 現時点における、地震の予測と短期予知についての知見を整理する
 - 前兆現象(Forerunners)を防災にどのように役立てたらよいか。



- 検討方針
 - 地震予知と予測に関する科学の現状とそれらが防災に貢献できる程度を評価する
 - 地震が活発な国に於ける、実用的地震予測の現状を評価する
 - 新たな科学的知見を実用的な地震予測手法として使えるようにするためのロードマップを示す。
 - 平易な言葉で勧告を出す。

7

ICEFレポートの内容

まえがきから

Operational earthquake forecastingの考え方

1. 将来発生しうる被害地震に関する継続的な公式情報の更新
 2. 災害軽減対策のための公式情報の発信
- ・ 公式情報の無いところで、研究者と市民へ非公式の情報のやりとりがあり、混乱をまねく。
 - ・ イタリアの科学者はまさに実用的地震予測の必要性に迫られており、このレポートを作成した。
 - ・ *Cristechurch*や*Tohoku*の地震の前に執筆されたが、これらの地震も時間依存する地震ハザード情報の必要性を示している。

1. **Introduction (5ページ)**
2. **Science of Earthquake Forecasting and Prediction (28ページ)**
3. **Status of Operational Earthquake Forecasting (11ページ)**
 - 中国・ギリシャ・イタリア・日本・ロシア・アメリカ
4. **Key Findings and Recommendation (5ページ)**
 1. **Need for Probabilistic Earthquake Forecasting**
 2. **Earthquake Monitoring**
 3. **Research on Earthquake Predictability**
 4. **Development of Long Term Forecasting Models**
 5. **Development of Short-Term Forecasting Models**
 6. **Verification of Earthquake Forecasting Methods**
 7. **Utilization of Earthquake Forecasts**
 8. **Public Communication of Earthquake Information**
5. **Roadmap for Implementation (2ページ)**
 1. **Underway**
 2. **Outstanding Action**

8

国際委員会のDPCへの勧告

- A. 確率論的地震予測の活用
 - ・ 必要なインフラと専門的知識を取り入れるべき
- B. 地震のモニタリング
 - ・ DPCが地震学的・測地学的データを集められるようにすべき
 - ・ 震源とひずみ速度マップの適時な作成ができるようにする
 - ・ 地震発生プロセス研究のための「天然の実験場」を設立する機会を支援すべき
- C. 地震予知可能性
 - ・ 地震及び地震予知可能性に関する基礎研究プログラムを、バランスの取れた国家プログラムの一部として実施すべき
- D. 長期予測モデルの開発
 - ・ 時間非依存、時間依存の予測モデルを開発するための研究プログラムを継続すべき
- E. 短期予測モデルの開発
 - ・ DPCは余震を予測するための実用能力を配備すべき
 - ・ DPCは地震活動の変化に基づく地震予測手法の開発を支援すべき
- F. 実用予測手法の検証
 - ・ データと照合した科学的検証を後ろ向きと前向きの両方に対して行うべき
 - ・ 地震予測手法の前向き試験のための国際インフラを検証ツールとして利用すべき
- G. 地震予測の活用
 - ・ 予測手法の評価と解釈のため、専門家等による独立した委員会を創設すべき
 - ・ 地震確率が閾値を超えた際に取りべき防災行動を含めた意志決定のために、定量的で透明性のある手順を確立すべき
- H. 一般市民への地震情報の伝達
 - ・ 情報伝達に関する社会科学的原则に従い、確率的地震予測に関する情報を継続的に伝えるべき

9

「提案」の考え方(抜粋)

- 予知と予測を定義する
 - Prediction(予知) = 決定論的
 - Forecast(予測) = 確率的
- 予測は確率が用いられるべきである
 - 決定論的予知は困難である
 - 信頼できる診断的前兆現象(Diagnostic Precursor)は見つかっていない
 - それでも基礎的研究は継続すべきである
 - 「ゆっくりとした動き」に注目すべき
- 実用的予測モデルは長期的地震ハザード予測に比較して確率利得のあるモデルでなければならない
 - 予測法の評価基準が必要
 - Retrospectiveに加えprospective評価が重要
- 予測の評価
 - 「場所」「規模」「時期」の範囲を決め、予測の成績を評価する
 - 「長期評価(予測)=固有地震モデル and/or GR」に対して確率利得があることを示す
 - 基準を決め、将来予測で評価する
 - (ゲームの途中でルールを変えない)

10

各国の状況

- | イタリア | 中国 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">• 防災のため公式の地震情報を出す組織は<ul style="list-style-type: none">– Department of Civil Protection (DPC)– 地方レベルでは対処できない災害に対応する– 科学的評価はCGR(National Commission for the Prediction and Prevention of Major Hazards)が担当<ul style="list-style-type: none">• 21人の委員(地震・核・火山・風水害・化学・運輸・文化遺産・健康被害に対応)– 地震・火山の観測・研究はINGV(Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)が担当<ul style="list-style-type: none">• 地震や火山の観測• 地震や火山ハザードの評価(地震ハザードマップの作成など)• どのような実用的予測がなされているか<ul style="list-style-type: none">– Long-term seismic hazard map (2004)<ul style="list-style-type: none">• 建築基準法(2008)の作成の基礎データとなる• 地震活動・地震発生可能性・地震波エネルギー伝達を考慮• 時間に依存しないハザードマップ(地震発生はポアソン過程)• 活断層調査は進行中• どのように市民に伝えられるか<ul style="list-style-type: none">– Webによる情報公開(地震ハザードマップ)• どのような発展が期待されるか | <ul style="list-style-type: none">• 防災のため公式の地震情報を出す組織は<ul style="list-style-type: none">– China Earthquake Administration (CEA)– 年1回の会議で各種観測データの評価と予測• どのような実用的予測がなされているか<ul style="list-style-type: none">– 長期・中期・短期・直前予測を行っている– Seismic Intensity Zonation Map (ver.3)– 各種観測データを用い、経験による地震予知• どのように市民に伝えられるか<ul style="list-style-type: none">– Act on the Management of Earthquake Prediction– 地震予知・予測の手続きを定める– 専門家の役割と非専門家の地震予知による社会コストを抑える• どのような発展が期待されるか<ul style="list-style-type: none">– 地震予知の難しさに直面– 観測データによる地震の理解をすすめる |

11

各国の状況

ギリシャ

- 防災のため公式の地震情報を出す組織は
 - Earthquake Planning and Protection Organization (EPPO)
 - 地震対策の基本方針、地震の予知・予測の評価
 - VAN予知に対応するため、政府はEPPOのもとに科学的地震災害・リスク評価委員会を設置(1992)
- どのような実用的予測がなされているか
 - 時間に依存しない地震ハザード予測と、それにもとづいた耐震基準
 - 予知・予測に関する公式なしくみはない
 - 研究レベルの予知はEPPOに提出される→委員会で評価・勧告
 - 観測・解析の強化
 - 地元の地震危機管理体制の強化
 - 論文に掲載された「地震予知=2007-2008年に〇〇でM7の地震が起きる」を評価した→「この予知は実用性に乏しいものの、観測は強化すべき。」と結論
- どのように市民に伝えられるか
- どのような発展が期待されるか

ロシア

- 防災のため公式の地震情報を出す組織は
 - Russian Expert Council for Earthquake prediction and Earthquake Hazard Assessment (REC)
- どのような実用的予測がなされているか
 - ロシアでは地震予知・予測手法の開発研究がさかんである。例)M8, RTL
 - 法律に則ったルートで「予知情報」が政府に伝えられる。
 - 「Kamchatka地域の地震に備える」計画
 - 2008-2103年にPetropavlovsk-kamchatskiyにM>7.5以上の地震が発生する確率は50%
 - Modified M8 → 660km x 660km の範囲で1993-1998にM>7.5の地震が起きる可能性の高い場所 (Zone of High Probability) ... <予測情報提出の20ヶ月後に地震発生>
- どのように市民に伝えられるか
 - 地域の委員会が科学委員会とともに予知情報の評価が行われる
 - RECに情報提供(実は、誰でも提供できる)
 - 実際に市民に伝達されることは希である
- どのような発展が期待されるか
 - Russian Academy of Scienceにより基礎的研究と観測が推進される

12

各国の状況

米国

- 防災のため公式の地震情報を出す組織は
 - USGS
 - 観測・ハザード評価・地震予測の責任機関
 - Natinal Earthquake Prediction Evaluation Council (NEPEC)が1978年に設立
 - 1990年代から不活発、2006年から再活動
 - CalEMA California Emergency Management Agency
 - CEPEC California Earthquake Prediction Evaluation Council
- どのような実用的予測がなされているか
 - National Seismic Hazard Map Project (NSHMP) — 連邦レベル
 - 建築基準法・保険料率・重要構造物・地震被害研究・耐震改修優先順位・土地利用計画の規準となっている
 - 時間に依存しないハザードマップ
 - UCERF2 (カリフォルニアのハザードマップ — 時間依存+時間非依存のハザードマップ)
 - 連邦レベルでは、確立した手順はない
 - カリフォルニア州では、CEPECが試行。
 - 3日間の地震発生確率を4つのランクD(0-0.1%), C(1-5%), B(5-25%), A(>25%) で評価。
 - 2009年3月M4.8のあと、SAFの南端にレベルCを出した。
- どのように市民に伝えられるか
 - CEPEC – CalEMAについては、きちんとした手順は決まっていない。
 - STEP(Short-Term Earthquake Probability)はWebで公開 (2005-)
 - 余震による地震動確率情報サービス
 - 場合によっては確率利得が10-100倍になることも
- どのような発展が期待されるか
 - UCERF3

13